农田生态学和长期试验示范引领黑土地保护和农业可持续发展

韩晓增　邹文秀　严　君　李　娜　李艳华　王建国　李禄军

中国科学院东北地理与农业生态研究所 海伦农业生态实验站 哈尔滨 150081

摘要　东北黑土区是我国重要的商品粮生产基地，在保障国家粮食安全中具有“压舱石”的重要作用。但是由于耕地长期高强度利用及用养失衡导致土壤发生退化，东北黑土区的农业可持续发展受到严重制约。在此背景下，1978 年原中国科学院黑龙江农业现代化研究所在东北黑土区中部的黑龙江省海伦市建立了中国科学院海伦农业生态实验站。自建站以来，围绕黑土地农田生态系统的结构和功能，建立了一系列的长期定位试验，经过长期对农田生态要素的监测和研究，划分了黑土肥力变化演化的 3 个时期，提出了区域尺度上的土壤有机质阈值，阐述了不同养分管理模式下的土壤养分演变规律，证实了通过农田作物的合理配置能够利用生态平衡调控有害生物对作物的危害。通过系谱法选育高产优质“东生号”系列大豆新品种 10 个，并且进行了成果转化和大面积推广应用。通过研发肥沃耕层构建关键技术，创建了东北黑土地保护利用模式，在黑龙江省的十几个产粮大县示范推广。通过基础理论研究—关键技术研发—大面积推广示范，长期试验示范为东北黑土地保护和区域农业可持续发展起到了重要的科技支撑。

关键词　长期试验示范，黑土地保护利用，土壤肥力变化，肥沃耕层构建，品种培育

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.2019.03.015

东北黑土地主要分布在黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区东四盟，耕地面积 2.78 亿亩，主要包括黑土、黑钙土、草甸土、白浆土、棕壤和暗棕壤，是国家重要的商品粮生产基地[1,2]。东北黑土地的粮食产量占全国总产的 1/4，商品粮占全国的 1/4，该地区的调出粮食占全国的 1/3，是国家粮食安全的“压舱石”[3,4]。东北黑土地存在的主要问题是耕地在高强度利用下发生不同程度的退化，主要包括：坡度 >2° 的坡耕地由于水土流失导致的黑土层变薄，其面积约占黑土地的 1/3；坡度 <2° 的耕地由于用养失调导致的耕作层变浅、变瘦，犁底层变厚、变硬，其面积约占黑土地的 2/3；同时还有自然土壤形成过程中存

资助项目：国家重点研发计划（2016YFD0200309、2016YFD0300806），国家自然科学基金（41571219、41771327、41807085），现代农业产业技术体系（CARS04），国家公益性行业（农业）科研专项（201503120）

修改稿收到日期：2019年3月4日

在的障碍层（白浆土）等问题[5]。土壤退化和障碍层的存在阻碍了区域农业可持续发展。

从 1978 年开始，以原中国科学院黑龙江农业现代化研究所所长曾昭顺为首的一大批院内外专家，围绕东北黑土地的农业科学问题、技术问题和生产问题，开展了系统的科学研究，同时在具有代表性的区域农业生态类型的黑龙江省海伦市建立了中国科学院海伦农业生态实验站（以下简称“海伦站”）。建站初期，正值国家要实现“工业现代化、农业现代化、国防现代化和科学技术现代化”的高潮期，在实现农业现代化的问题上，部分专家提出了农业也要实现“机械化、水利化、化学化和大地园田化”。在当时国力比较孱弱的情况下，在县域尺度上实现“农业四化”需要几百亿资金，因此是一个不可实现的目标。但经过专家们的反复论证后，海伦站再次组织马世骏和侯学煜等专家进行调研论证，提出了农业现代化起步必须从调整农业结构入手，实现农、林、牧、副、渔统筹发展，种养加并行，走山水田林路综合治理的道路。这对我国当时农业“以粮为纲”的方针来说，是一个创新性的理念，引领了我国农业现代化。专家们通过大量的研究提出了海伦“飞鸟型经济”模式（图 1），该模式是“一主”（种植业）“两翼”（畜牧业和加工业），旨在瞄准经济效益（“鸟头”），不断按照社会需求和生态效益来调整经济发展。与此同时，国务院批准了中国科学院将海伦县列为综合农业试验基地县，这些前期准备工作为我国目前的现代农业发展奠定了坚实的基础。为了系统研究土壤肥力演变过程及调控因素，海伦站设置了多组、多类型的长期定位试验，旨在探明东北黑土区土壤肥力的演化过程。同时结合农业生产秸秆处理难的问题和实现黑土地保护利用的目标，提出了肥沃耕层理论，研发肥沃耕层构建关键技术，并创新集成了黑土地保护利用模式进行示范推广，引领了黑土地保护利用和区域农业可持续发展。



图 1　海伦“飞鸟型经济”模式

1 建立了黑土长期定位试验体系，揭示了黑土肥力演变过程

1.1 黑土长期定位试验体系夯实了科学研究基础

我国东北黑土地的开垦利用经历了 50—200 年，由于土壤肥力变化受人类活动和自然环境的综合影响，在研究其变化规律过程中，田间长期定位试验具有非常重要的作用。围绕黑土地农田生态系统的结构和功能，海伦站建立了一系列长期定位试验（图 2）。最早的长期定位试验是沈善敏先生于 1985 年设计的“农田养分循环利用”，其后是鲁如坤先生、林心雄先生和谢建昌先生分别设计了“氮磷钾”试验、“土壤有机质”试验和“土壤钾素”试验；再后来是韩晓增研究员根据黑土地的形成特征和农田化过程中的关键农作制度及区域农田生产的代表性设计了耕地土壤自然恢复、母质初级成土过程与特征、施肥（包括秸秆还田）、耕作和轮作 5 大类 13 组长期定位试验。1985 年和 2004 年分别建立了 2 组耕地土壤自然恢复长期定位试验，用于系统研究耕地恢复为自然生态系统过程中黑土属性的可逆性及其演变速度；1989 年建立不同组合的耕作试验，目前已发展为免耕秸秆覆盖和组合耕法方面的研究；1990 年建立了基于大豆的不同轮作连作试验，用于系统分析玉米、大豆、小麦不同组合轮作和连作条件下的农田生态效应；1993 年建立水肥耦合效应长期定位试验，研究旱

作农业以水定肥和以肥调水机理；2004 年建立黑土母质初级成土过程及其肥力演化机制试验，模拟了黑土层侵蚀殆尽黄土裸露后，母质表层形成土壤的一系列过程和肥力形成机制及潜力；1985—2004 年间建立了 7 组长期施肥试验，主要包括化肥、有机肥、有机肥和化肥的配施以及秸秆还田，用于系统研究土壤培肥和肥料效应。除了长期定位试验外，海伦站还建立了土壤水分动态平衡观测场、养分长期监测样地和农田小气候观测场。上述长期定位试验和观测场/监测样地，为揭示黑土肥力变化过程及调控因素奠定了坚实的基础。

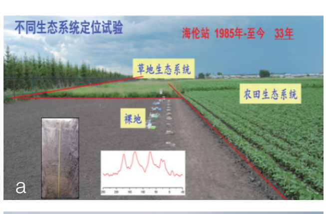








图 2 海伦站长期定位试验样地

（a）不同生态系统定位试验（1985 年）；（b）作物长期连作与轮作试验（1990 年）；（c）水肥耦合效应定位试验（1993 年）；（d）黑土母质初级成土过程模拟试验（2004 年）

1.2 黑土肥力变化特征划分支撑了黑土地保护利用技术的提出

基于海伦站的长期定位试验，将黑土地肥力演化划分为 3 个时期，即自然肥力形成期、开垦期和稳定性利用期。黑土形成期始于第四纪最后一个冰期后，在沉积性母质上经过大约 11 000 年的漫长时间形成，即自然肥力形成期。黑土开垦后大约经历 30 年的时间，达到了相对稳定的农业利用期。在此阶段，黑土地表层土壤有机质经历快速下降过程（在开垦后的前 10 年土壤有机质以平均每年 2.6% 的速度下降），土壤碳氮比激烈的调整过程，土壤速效磷因施肥而快速提升过程。在黑土稳定性利用时期大约 10.0% 的耕地肥力水平得到了提升，20.0% 耕地地力维持在中等水平，70.0% 土壤肥力退化；目前退化土壤表层有机质正在以 0.06%—0.09% 速度下降[4]。黑土地开垦后不同时期土壤有机质下降速度不同，不能作为一个整体讨论，否则会得出一些错误的结论。通过对黑土地肥力演变时期的划分，发现了黑土地肥力变化分为形成、剧烈变化和缓慢变化 3 个阶段，每个阶段变化规律和驱动因子是不同的，生产上提出了相应的对策。

土壤有机质含量是评价土壤肥力的重要指标，基于长期定位试验明确了黑土地退化的关键过程是土壤有机质在 0—35 cm 土层（概率为 97%）锐减，提出了影响作物产量的有机质阈值是 4.5%，黑土地土壤有机质从 4.5% 下降到 3.5%，耕地产能下降了 42 个百分点。东北黑土地分布区内以北纬 45°为分界线，北部表层土壤有机质下降至 3.0% 以下、南部下降至 2.0% 以下时黑土发生严重退化，表层土壤有机质每下降 1.0 g/kg，粮食减产 10.0%—15.0%。在区域尺度上确定了东北黑土地表层土壤有机质每年下降速度为 0.06%—0.10%。提出了秸秆还田和有机肥施用是阻控有机质锐减和提升的有效途径，研究结果表明秸秆沤制和粮食过腹还田 33 年后，黑土 0—35 cm 土层有机质提高 9.2%—12.6%；玉米秸秆连续 13 年全量原位还田后土壤有机质提高 9.7%—14.1%[6-9]。

基于水分动态平衡观测场的监测，发现黑土持水能力和保水能力较强，储水库容较大。农田黑土 0—100 cm 的田间储水量为 387 mm，相当于全年降水量的 73%；土壤最大储水量为 576 mm，相当于全年降水量的 108%；土壤有效储水量为 243 mm，相当于全年降水量的 46.0%。计算了春小麦、大豆和玉米生育期平均耗水量分别为 302 mm、397 mm 和 500 mm[10]。大气降水能够满足作物的水分需求，但是年内降水分布不均和年际间降水不平衡是限制区域内粮食产量的主要因素[11]。提出了黑土农田水分调控措施，优化作物轮作连作的田间配置结构，合理增加整个生育期叶

面积指数，减少地面蒸发量；推广组合耕法，创造虚实并存土体构造，增强土壤储水和供水能力、培肥地力，以肥促水[12]。

基于肥料试验，阐明了黑土农田养分的时空演变特征。开垦后农田氮素一直处于亏缺状态，但进入到20世纪90年代氮素收支接近平衡，目前已略有盈余；磷素从20世纪90年代开始盈余，目前磷素盈余已达40%；而钾素历史上一直呈大比例亏缺，但近年来亏缺程度有所缓解。探明了黑土农田养分平衡与土壤养分消长规律。农田土壤供氮量一般在55.2—99.0 kg/hm^2，占土壤总氮量的1.1%—2.0%；土壤磷素的供应量一般在14.3—26.2 kg/hm^2，占土壤总磷量的0.9%—1.7%；土壤钾素的供应量一般在48.3—93.4 kg/hm^2，占土壤总钾量的0.08%—0.15%。目前农田土壤潜力肥力很高，禾本科作物某一年不施氮肥，能达到全肥产量的60%—70%；不施磷肥，能达到全肥产量的85%以上；不施钾肥，能达到全肥产量的95%以上。但在连续不施肥的情况下，黑土农田氮、磷、钾养分的自然供给力将呈不同程度的下降趋势。提出了氮、磷、钾肥料的高效利用策略为精准施氮肥、灵活施用磷肥、因作物施用钾肥[13]。该成果2017年获得了吉林省自然科学奖一等奖。

2 创新和发展了农田生态学理论，阐明了大豆在农田生态系统中的重要作用

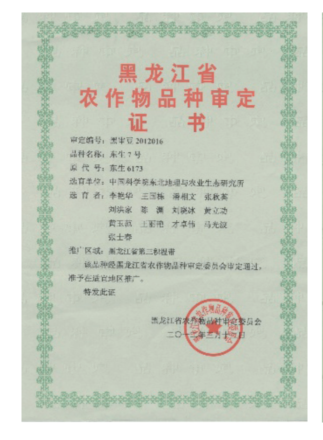
根据东北黑土区旱田主栽作物的种植制度，建立了玉米、大豆和小麦的长期连作和不同组合的轮作试验，发现了大豆连作条件下胞囊线虫病发病程度呈现两段性。第一段是随着连作年限增加胞囊线虫病加重，第二段是约5年后胞囊线虫病的产生减轻并稳定在一个水平上。研究发现在第二阶段是土壤产生了能抑制胞囊线虫病的属性，使大豆胞囊线虫种群密度显著减少。通过分离、培养和鉴定出能抑制大豆胞囊线虫的寄生菌株14株，包括厚坦轮枝菌、淡紫拟青霉和镰孢菌等。抑制性土壤属性的产生导致大豆胞囊线虫病危害程度可以减少90%以上，修正了前人“大豆胞囊病危害程度随着年限增加而不断地加重”的观念[14]。农田生态系统的多样性，决定有益生物和有害生物的优势度，通过农田作物之间的合理配置，使生态系统生物链加长、生物网层级变多，通过生态平衡调控某一有害生物对作物的危害。这些研究成果，创新和发展了农田生态学理论，为国家合理配置粮豆生产提供了理论支持。

大豆根瘤共生固氮效率的高低取决于大豆根瘤菌与宿主大豆的亲和性，土壤中大豆根瘤菌丰度和多样性越高，形成高固氮效率根瘤的概率就越大。研究发现，与玉米-大豆-小麦轮作相比，大豆连作、小麦连作和玉米连作条件下的大豆根瘤菌丰度分别下降了15、11 147和2 518倍。通过对大豆和非豆科作物轮作连作条件下大豆根瘤中根瘤菌的分离、纯化、培养，共鉴定出3种大豆根瘤菌（*Bradyrhizobium* sp. I，*B. japonicum* USDA 6T和*B. dizoefficiens* USDA110）[15]。大豆是大豆根瘤菌最适宜的宿主，通过大豆和非豆科作物之间的轮作连作能够改变土壤中大豆根瘤菌丰度、组成和生活方式，并控制根瘤菌侵染后大豆的固氮效率的高低。这些研究成果深化了作物、微生物间的相互作用关系，揭示了大豆在农田生态系统中的重要地位，为玉米-大豆轮作提供了重要的数据支撑。

基于作物轮作连作试验，发现了对土壤养分、水分、结构、微生物的多样性、丰度产生了协同提高效应[16]。明确了从农田尺度上以大豆为核心的作物间、作物和环境间，以及作物、微生物和动物种群间的相互作用关系，揭示了大豆与不同作物系统配置对人类调控的响应与适应规律，为解决区域重大生产问题和国家轮作休耕战略提供科技支撑。这部分研究成果于2015年获得了黑龙江省自然科学奖一等奖。

3 选育了“东生号”系列大豆品种，实现了品种转化

以黑龙江省大豆生产逐渐北移，生产上缺少早熟高产品种为目标，以适应当地生态环境且耐性极强的种质为亲本，采用混合选择与系谱法结合的育种方法进行后代选择，培育出早熟、高产、适应性广、商品属性优，适合黑龙江省第三、第四、第五积温带种植的“东生号”大豆新品种10个（“东生”系列1—10号），其中4个通过国家审定（图3），为区域农业种植提供主栽品种。系列品种已经进行了转化，直接经济效益2 000万元，累计推广应用5 000万亩，增产大豆10亿千克，增加效益36亿元。


黑龙江省
农作物品种审定
证 书

审定编号：黑审豆2012016
品种名称：东生7号
原 代 号：东生6173
选育单位：中国科学院东北地理与农业生态研究所
选 育 者：李艳华 王国栋 潘相文 张秋英 刘洪家 陈 渊 刘晓冰 黄立动 黄玉萍 王丽艳 才卓伟 马光辉 张士春
推广区域：黑龙江省第三积温带

该品种经黑龙江省农作物品种审定委员会审定通过，准予在适宜地区推广。

特发此证

黑龙江省农作物品种审定委员会
二〇一二年三月十四日


农作物品种审定
证 书

图3 “东生号”系列大豆品种审定证书

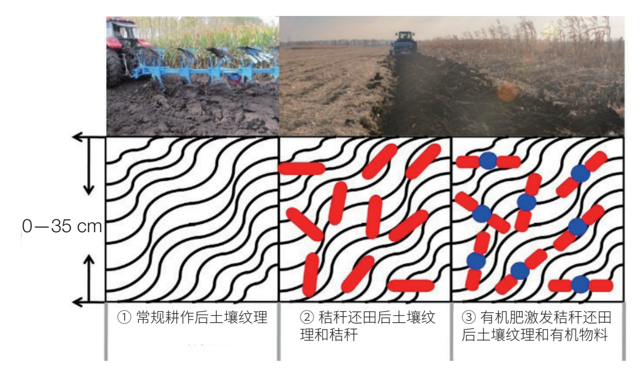


图4 肥沃耕层构建模式图

4 创建了农田地力提升技术体系，助推黑土地保护利用

根据长期定位试验与示范的研究结果创建了肥沃耕层理论，研发了肥沃耕层构建关键技术，形成了肥沃耕层构建技术体系，集成创新了黑土地综合保护利用模式，为黑土地保护利用和区域农业可持续发展提供科技支撑

4.1 肥沃耕层理论的创建及指标体系的建立

根据长期野外观测和田间长期定位试验，获得了黑土退化实质是基于侵蚀导致黑土层变薄和非侵蚀耕地基于高强度利用导致耕作层变浅，有机质变少，犁底层变厚、变硬的问题，首次提出并建立了肥沃耕层理论。根据作物高产根系生长发育需要的土壤空间、大气降水特征和土壤类型，首次建立了以培肥和改造0—35 cm土层为核心内容的肥沃耕层理论，即以农田耕层土壤扩容与培肥为目的，采用机械的方法，将能培肥土壤且无害化的农业生产废弃有机物深混于0—35 cm土层，形成一个深厚肥沃的耕作层（图4），构建了“水”“肥”“气”“热”相协调的土壤环境，能够促进作物根系生长和地上部发育，提高作物产量。提出了肥沃耕层的指标体系。松嫩平原中东部和三江平原土壤有机质≥35.0 g/kg，松嫩平原西部和辽河平原土壤有机质≥20.0 g/kg；饱和含水量≥210.0 mm、田间持水量≥140.0 mm、饱和导水率0.5—1.5 cm/h、水稳性团聚体（>0.25 mm）≥40.0%；阳离子交换量≥25.0 cmol/kg，pH值5.5—7.5；有效磷≥30.0 mg/kg，有效钾≥150.0 mg/kg，缓效钾≥800 mg/kg[17,18]。

4.2 肥沃耕层构建关键技术的研发及应用

针对中厚黑土和草甸土有机质和黏粒含量高、耕作层浅、犁底层厚、水热传导差影响根系生长的问题，研制了秸秆深混耕层扩容技术，即采用秸秆粉碎技术和玉米秸秆深混还田技术将玉米秸秆均匀深混于0—35 cm土层，耕作层深度由15—17 cm扩容到35 cm。第一年作物增产21.9%，水分利用效率增加18.2%，土壤容重下降9.4%，土壤饱和导水率增加13.2%，土壤有机质、速效氮、速效磷和速效钾分别

提高 0.23 g/kg、19.0 mg/kg、3.5 mg/kg 和 8.9 mg/kg；第三年作物增产 16.3%，土壤有机质提高 1.37 g/kg[19-21]。

针对薄层黑土（包括侵蚀后的薄层黑土）、棕壤、暗棕壤和黑钙土的黑土层薄、养分贫瘠、物理性状差等问题，研制了熟土心土混层二元补亏增肥技术，即将熟土层与心土层混合，配合混入秸秆和有机肥，补充因熟土层和心土层混合后导致的土壤肥力下降，后效期 3—6 年。当心土层有机质含量相当于表层土壤 80.0% 以上时，有机肥施用量为 4 500—3 000 kg/hm^2；在 60%—80% 时，有机肥施用量为 9 000—15 000 kg/hm^2；60.0% 以下时，有机肥施用量为 15 000 kg/hm^2 以上（烘干基计）。3 年效果为：玉米增产 7.5% 以上，大豆增产 8.6% 以上，土壤有机质提高 9.1% 以上，土壤速效氮、速效磷和速效钾分别提高 18.3%、9.3% 和 13.7% 以上，水分利用效率平均提高 14.2%，土壤容重下降 8.9%—10.3%。

针对白浆土的白浆层，在前人提出的“心土混层”技术的基础上增施秸秆、有机肥和化肥三元物料一次性作业改造白浆层，即黑土心土混层三元补亏调盈技术。试点 3 年效果为：大豆增产 15.0% 以上，玉米增产 12.0% 以上。>0.25 mm 的水稳性团聚体增加 27.0% 以上，土壤有机质提高 3.5 g/kg 以上，土壤速效磷增加 4.3 mg/kg 以上，土壤饱和含水量及田间持水量分别增加 19.0% 和 21.0% 以上。

4.3 以肥沃耕层构建为核心的黑土地保护利用技术模式的集成及推广示范

以机械耕作扩容耕层和以秸秆、有机肥和氮、磷、钾化肥三元物料增肥为核心技术，集成适宜黑土地不同土壤类型耕地的“翻、免”耕作、玉米秸秆“深混、覆盖”还田、玉米大豆“轮作连作”技术和精准施肥系列技术，创建了 9 个黑土地保护利用模式。玉米连作条件下分别建立了：① 秸秆深混耕层扩容模式，② 熟土、心土混层二元补亏增肥模式，③ 黑土层、白浆层混合三元补亏调盈模式；玉米-大豆轮作条件下分别建立了：④ 秸秆深混耕层扩容模式，⑤ 熟土心土混层二元补亏增肥模式，⑥ 黑土层、白浆层混合三元补亏调盈模式；玉米-大豆-大豆种植方式下分别建立了：⑦ 秸秆深混耕层扩容模式，⑧ 熟土、心土混层二元补亏增肥模式，⑨ 黑土层、白浆层混合三元补亏调盈模式。并以海伦市为核心示范县（图 5），其他 10 个县为扩展示范县，开展大面积推广应用，2006—2017 年累计示范推广面积 2 000 万亩，新增粮豆 7.8 亿千克，增收 19.1 亿元，全面提升了区域内黑土肥力和农业生产水平，研究成果过得了黑龙江省科技进步奖一等奖。



图 5　中国科学院农业科技项目示范区

5 结语

海伦站自 1978 年建站以来，围绕着我国东北黑土地保护利用和农业可持续发展的核心问题，开展了长期而卓有成效的科学研究、技术研发和示范推广，为建设东北黑土地的国家商品粮基地和保障国家粮食安全作出了重要贡献。通过长期野外观测和长期定位试验，揭示了黑土地肥力变化规律。在自然状态肥力提升过程、开垦初期表层土壤有机质剧烈下降过程和肥力提升过程、在稳定农田化利用过程中约占 5% 的耕地由于长期大量施用有机肥获得了提升，约占 15% 的耕地由于科学管理使土壤肥力保持在一个水平上，占 80%的耕地由于缺乏科学管理导致肥力下降。研发出

适合于黑土地保护利用的秸秆还田技术、有机肥施用技术、有大豆参与的轮作技术和节肥节药技术。通过承担国家和省级重大科研项目，带动了农田生态学的学科发展，引领了我国东北黑土地的保护利用和农业可持续发展的科学研究和技术模式的研发，在国际上产生了深刻的影响。在国内通过向国家相关部门的咨询建议和与地方政府合作，提高了政府和农民对黑土地保护的认识，推动了黑土地保护利用向纵深发展。通过与东北三省一区的地方院所联合攻关，建立了一支黑土地保护利用的教学、科研、技术研发和生产管理的人才队伍，创建的黑土地肥沃耕层构建技术模式，实现了大面积示范推广和应用，从而提高了黑土地耕地质量和粮食生产的产能，提高了农民种田的收入。

参考文献

1 刘春梅, 张之一. 我国东北地区黑土分布范围和面积的探讨. 黑龙江农业科学, 2006, (2): 23-25.

2 中国科学院林业土壤研究所. 中国东北土壤. 北京: 科学出版社, 1980.

3 魏丹, 匡恩俊, 迟凤琴, 等. 东北黑土资源现状与保护策略. 黑龙江农业科学, 2016, 16(1): 158-161.

4 韩晓增, 邹文秀. 我国东北黑土地保护与肥力提升的成效与建议. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 206-212.

5 张之一. 黑龙江省土壤开垦后土壤有机质含量的变化. 黑龙江八一农垦大学学报, 2010, 22(1): 1-4.

6 韩晓增 李娜. 中国东北黑土农田关键生态过程与调控. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2011.

7 韩晓增, 李娜. 中国东北黑土地研究进展与展望. 地理科学, 2018, 38(7): 1032-1041.

8 Han X Z, Li H B. SOM pool of a black soil: impacts of land-use change and long-term fertilization. Beijing: Science Press, 2010.

9 韩晓增, 王凤仙, 王凤菊, 等. 长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 66-71.

10 孟凯, 张兴义, 隋跃宇, 等. 黑龙江海伦农田黑土水分特征. 土壤通报, 2003, 34(1): 11-14.

11 邹文秀, 韩晓增, 江恒, 等. 东北黑土区降水特征及其对土壤水分的影响. 农业工程学报, 2011, 27(9): 196-122.

12 韩晓增, 颜春起. 中国东北农田土壤水分属性及调控. 北京: 科学出版社, 2005.

13 韩晓增, 许艳丽. 农业生态系统结构与功能研究. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1996.

14 韩晓增, 许艳丽. 大豆重迎茬减产控制. 北京: 科学出版社, 1999.

15 Yan J, Han X Z, Ji Z J, et al. Advance and diversity of soybean-nodulating rhizobia in black soil are impacted by land use and crop management. Applied and Environmental Microbiology, 2014, 80(17): 5394-5402.

16 韩天富, 韩晓增. 走粮豆轮作均衡持续丰产的农业发展道路. 大豆科技, 2016, (1): 1-3.

17 韩晓增, 邹文秀, 陆欣春. 耕地肥沃耕层构建技术规程. DB23/T 1986-2017.

18 韩晓增, 邹文秀, 陆欣春, 等. 旱作土壤耕层及其肥力培育途径. 土壤与作物, 2015, 4(4): 145-150.

19 韩晓增, 邹文秀, 王凤仙, 等. 黑土肥沃耕层构建效应. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2996-3002.

20 邹文秀, 韩晓增, 陆欣春, 等. 施入不同土层的秸秆腐殖化特征及对玉米产量的影响. 应用生态学报, 2017, 28(2): 563-570.

21 邹文秀, 陆欣春, 韩晓增, 等. 耕作深度及秸秆还田对农田黑土土壤供水能力及作物产量的影响. 土壤与作物, 2016, 5(3): 141-149.

Ecology in Agriculture and Long-term Research Guide Protection of Black Soil and Agricultural Sustainable Development in Northeast China

HAN Xiaozeng ZOU Wenxiu YAN Jun LI Na LI Yanhua WANG Jianguo LI Lujun

(Hailun Agro-ecosystem Experimental Station, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract Black soil region in Northeast is one of important commercial food production bases in China, and is irreplaceable for the national food security. However, the sustainable development of agriculture in Northeast has been severely constrained by soil degradation caused by long-term intensive and unbalanced use of arable land without protection of it. To solve this problem, original Heilongjiang Institute of Agricultural Modernization, Chinese Academy of Sciences (CAS) established Hailun Agro-ecosystem Experimental Station (Hailun Station), CAS in the central black soil region in Northeast in 1978. Since then, a series of long-term experiments have been set up based on the structure and function of the region. The evolution of soil fertility has been divided into three periods in light of the long-term monitoring and research for key elements in agro-ecosystem. The thresholds of soil organic matter on regional scale were proposed, and the evolution of soil fertility under different management patterns of soil nutrients was expounded, which verified that appropriate arrangement of field crops could regulate and control the impact of pests on crops. 10 high-yield soybean varieties were bred with pedigree method and were applied in Heilongjiang Province. Through the research and development of critical technologies for constructing fertile cultivated soil layer, the protection and utilization patterns of black soil were established, which were demonstrated and extended in more than 10 major grain-producing counties in Heilongjiang Province. Long-term research provides scientific and technological support for the protection of black soil and regional agricultural development through the combination of basic research, critical techniques development and large-scale demonstration.

Keywords long-term research, protection of black soil, change of soil fertility, constructing fertile cultivated soil layer, soybean breed



韩晓增 中国科学院东北地理与农业生态研究所二级研究员，中国科学院海伦农业生态实验站原站长（1998年5月—2017年11月），农业农村部耕地质量建设专家指导组副组长，黑龙江省委省政府科顾委专家组成员，*Pedosphere* 等6个科技期刊编委。长期从事我国东北地区土壤与耕作栽培方面研究，先后在大豆重迎茬减产机理和减产控制技术、土壤耕作与培肥、东北典型农田生态系统结构功能和黑土地保护利用等方面取得了一系列重要研究成果，研发了多套关键技术和技术模式，促进了东北地区农业可持续发展。近5年以第一完成人获得吉林省和黑龙江省自然科学奖一等奖2项，黑龙江省科技进步奖一等奖1项。发表SCI收录文章95篇，以第一作者撰写专著7部，获得授权专利11项。E-mail: xzhan@iga.ac.cn

HAN Xiaozeng Professor in Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, the preceding director of Hailun Agro-ecosystem Experimental Station (May 1998-November 2017). Currently he works as deputy director for the Committee of Arable Quality Construction in Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. He is also a member of counselor committee in Heilongjiang Province and editor for six journals including *Pedosphere*. His major focuses on the research of soil and cultivation in Northeast China. He has achieved a series of research achievements in the theory of decreasing yield under continuously planting soybean and providing corresponding techniques to control the yield decrease, soil cultivation, the structure

and function of agro-ecosystem in Northeast and black soil protection. He also developed several critical techniques and technique patterns, which has promoted the sustainable development of agriculture in Northeast China. In past five years, he received the first prize of Natural Science Award in Heilongjaing Province and Jilin Province, respectively, the first prize of Science and Technology Progress Award in Heilongjiang Province. Up to now, he has published SCI indexed papers. He has also published seven monographs as first author, and his eleven patents have been authorized. E-mail: xzhan@iga.ac.cn

■责任编辑：刘天星

参考文献（双语版）

1 刘春梅, 张之一. 我国东北地区黑土分布范围和面积的探讨. 黑龙江农业科学, 2006, (2): 23-25.

Liu C M, Zhang Z Y. Discussion of the area and distribution of black soils in northeastern China. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2006, (2): 23-25. (in Chinese)

2 中国科学院林业土壤研究所. 中国东北土壤. 北京: 科学出版社, 1980.

Shenyang Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences. Soils in Northeast China. Beijing: Science Press, 1980. (in Chinese)

3 魏丹, 匡恩俊, 迟凤琴, 等. 东北黑土资源现状与保护策略. 黑龙江农业科学, 2016, (1): 158-161.

Wei D, Kuang E J, Chi F Q, et al. Status and protection strategy of black soil resources in northeast of China. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2016, (1): 158-161. (in Chinese)

4 韩晓增, 邹文秀. 我国东北黑土地保护与肥力提升的成效与建议. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 206-212.

Han X Z, Zou W X. Effects and suggestions of black soil protection and soil fertility increase in Northeast China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 206-212. (in Chinese)

5 张之一. 黑龙江省土壤开垦后土壤有机质含量的变化. 黑龙江八一农垦大学学报, 2010, 22(1): 1-4.

Zhang Z Y. The changed of soil organic matter after cultivated in Heilongjiang Province. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2010, 22(1): 1-4. (in Chinese)

6 韩晓增, 李娜. 中国东北黑土农田关键生态过程与调控. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2011.

Han X Z, Li N. Key Ecological Processes and Regulation of Black Soil Farmland in Northeast China. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2011. (in Chinese)

7 韩晓增, 李娜. 中国东北黑土地研究进展与展望. 地理科学, 2018, 38(7): 1032-1041.

Han X Z, Li N. Research progress of black soil in Northeast China. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(7): 1032-1041. (in Chinese)

8 Han X Z, Li H B. SOM Pool of A Black Soil: Impacts of Land-use Change and Long-term Fertilization. Beijing: Science Press, 2010.

9 韩晓增, 王凤仙, 王凤菊, 等. 长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 66-71.

Han X Z, Wang F X, Wang F J, et al. Effects of long-term organic manure application on crop yield and fertility of black soil. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(1): 66-71. (in Chinese)

10 孟凯, 张兴义, 随跃宇, 等. 黑龙江海伦农田黑土水分特征. 土壤通报, 2003, 34(1): 11-14.

Meng K, Zhang X Y, Sui Y Y, et al. Black soil water characteristic in Hailun, Heilongjiang. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(1): 11-14. (in Chinese)

11 邹文秀, 韩晓增, 江恒, 等. 东北黑土区降水特征及其对土壤水分的影响. 农业工程学报，2011, 27(9): 196-202.

Zou W X, Han X Z, Jiang H, et al. Characteristics of precipitation in black soil region and response of soil moisture dynamics in Northeast China. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2011, 27(9): 196-202. (in Chinese)

12 韩晓增, 颜春起. 中国东北农田土壤水分属性及调控. 北京: 科学出版社, 2005.

Han X Z, Yan C Q. Soil Moisture Properties and Regulation of Farmland in Northeast China. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese)

13 韩晓增, 许艳丽. 农业生态系统结构与功能研究. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1996.

Han X Z, Xu Y L. Structure and Function of Agricultural

Ecosystem. Harbin: Harbin Engineering University Press, 1996. (in Chinese)

14 韩晓增, 许艳丽. 大豆重迎茬减产控制. 北京: 科学出版社, 1999.

Han X Z, Xu Y L. Control of Soybean Yield Reduction in Continuous Cropping. Beijing: Science Press, 1999. (in Chinese)

15 Yan J, Han X Z, Ji Z J, et al. Abundance and diversity of soybean-nodulating rhizobia in black soil are impacted by land use and crop management. Applied and Environmental Microbiology, 2014, 80(17): 5394-5402.

16 韩天富, 韩晓增. 走粮豆轮作均衡持续丰产的农业发展道路. 大豆科技, 2016, (1): 1-3.

Han T F, Han X Z. Taking the road of agricultural development of grain and bean rotation with balanced and sustained high yield. Soybean Science & Technology, 2016, (1): 1-3. (in Chinese)

17 韩晓增, 邹文秀, 陆欣春. 耕地肥沃耕层构建技术规程. DB23/T 1986—2017.

Han X Z, Zou W X, Lu X C. Technical regulations for the construction of fertile plough layer on cultivated land. DB23/T 1986—2017. (in Chinese)

18 韩晓增, 邹文秀, 陆欣春, 等. 旱作土壤耕层及其肥力培育途径. 土壤与作物, 2015, 4(4): 145-150.

Han X Z, Zou W X, Lu X C, et al. The soil cultivated layer in dryland and technical patterns in cultivating soil fertility. Soil and Crop, 2015, 4(4): 145-150. (in Chinese)

19 韩晓增, 邹文秀, 王凤仙, 等. 黑土肥沃耕层构建效应. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2996-3002.

Han X Z, Zou W X, Wang F X, et al. Construction effect of fertile cultivated layer in black soil. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(12): 2996-3002. (in Chinese)

20 邹文秀, 韩晓增, 陆欣春, 等. 施入不同土层的秸秆腐殖化特征及对玉米产量的影响. 应用生态学报, 2017, 28(2): 563-570.

Zou W X, Han X Z, Lu X C, et al. Effects of straw incorporated to different locations in soil profile on straw humification coefficient and maize yield. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(2): 563-570. (in Chinese)

21 邹文秀, 陆欣春, 韩晓增, 等. 耕作深度及秸秆还田对农田黑土土壤供水能力及作物产量的影响. 土壤与作物, 2016, 5(3): 141-149.

Zou W X, Lu X C, Han X Z, et al. The impact of tillage depth and straw incorporation on crop yield and soil water supply in arable black soil. Soils and Crops, 2016, 5(3): 141-149. (in Chinese)